Microfoons

Een microfoon is in staat trillingen in de lucht om te zetten in elektrische wisselspanningen. In dit artikel krijgt u een overzicht van de belangrijkste soorten microfoons die u kunt kopen met uiteraard een bespreking van de werking en de voor- en nadelen.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 07-03-2018

Wat inleidende wetenswaardigheden

De microfoon is een druk naar spanning omzetter
Zoals geschreven in de inleiding is een microfoon een omzetter die akoestische trillingen in de lucht omzet in elektrische spanningen. Die akoestische trillingen uiten zich onder de vorm van minimale drukverschillen in de lucht. Hierbij is het wél de bedoeling dat er een proportioneel verband bestaat tussen het verloop van die drukverschillen en de vorm van de wisselspanning.

Waar komt de spanning vandaan?
Sommige microfoons wekken geheel zelfstandig een wisselspanning op. Andere typen moeten een gelijkspanning als voeding krijgen om de gewenste wisselspanning te genereren. Dit is het geval bij koolstof microfoons en condensator microfoons. De in de microfoon opgewekte wisselspanning is meestal dermate klein, dat er een microfoon voorversterker aan te pas komt om het signaal op een verwerkbaar niveau te brengen. Vooral de signalen afkomstig van band, condensator en elektreet microfoons zijn zeer klein.

Zeer grote kwaliteitsverschillen
De verderop beschreven basistypen vindt u in de praktijk terug onder de vorm van een enorm aanbod aan microfoons in allerlei vormen en maten van uitermate goed tot uitermate slecht en van goedkoop tot onbetaalbaar. Er zijn zeer kleine microfoons (enkele mm doorsnee), die zich goed lenen voor inbouw in apparaten in zowel condensator, elektreet, kristal als elektrodynamische uitvoeringen. Voor kwalitatief goede muziekopnamen wordt meestal gebruik gemaakt van condensator microfoons. Voor deze microfoons is een 48 V voeding nodig, die meestal in de handgreep is ondergebracht onder de vorm van een kleine 1,5 V batterij die een spanningsomvormer stuurt die 48 V genereert. Op de handgreep is dan een aan/uit schakelaar te vinden om de batterij te sparen.

Fantoomvoeding
Sommige condensator microfoons werken met een fantoomvoeding. Een fantoomvoeding is een systeem waarmee u met één kabel zowel het microfoonsignaal (wisselspanning) als de noodzakelijke voedingsspanning (gelijkspanning) kunt versturen. Fantoomvoeding is mogelijk doordat gelijkstroom en wisselstroom elkaar niet storen. De fantoomspanning bedraagt meestal 48 V.

Typen microfoons
Er zijn diverse soorten microfoons ontwikkeld:
- Koolstof microfoons.
- Kristal microfoons.

- Condensator microfoons.
- Elektreet microfoons.
- Dynamische microfoons.
- Band microfoons.
- Laser microfoons.

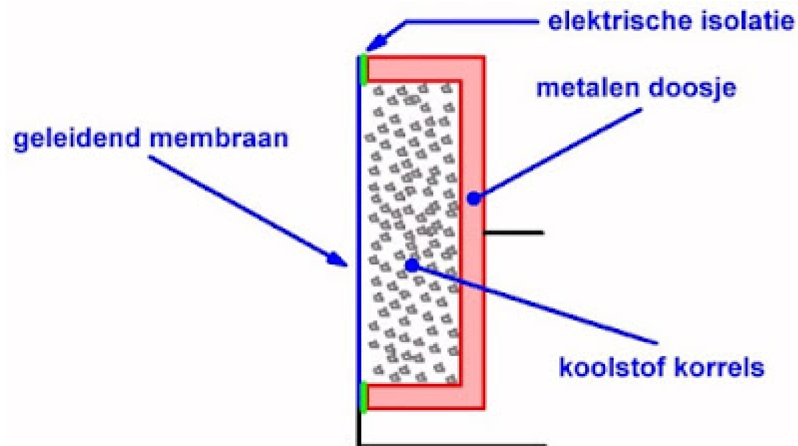
Werkingsprincipes
De werking van een microfoon volgt een van de vijf onderstaande principes:

- **Resistief:**
  De geluidsdruk moduleert de weerstand van een element, deze weerstandsvariatie wordt omgezet in een spanningsvariatie.
- **Elektromagnetisch:**
  De variërende geluidsdruk verstoort de grootte van een magnetisch veld, met als gevolg dat er in een spoeltje of een diafragma een spanning wordt gegenereerd.
- **Piëzo-elektrisch:**
  Deze categorie werkt volgens het piëzo-elektrisch effect. Materialen die het piëzo-elektrisch effect vertonen kunnen mechanische spanningen rechtstreeks omzetten in elektrische spanningen.
- **Capacitief:**
  Bij deze categorie beïnvloedt de geluidsdruk de waarde van een condensator, waarvan de waarde wordt omgezet in een wisselspanning.
- **Doppler-effect:**
  Bij dit systeem beïnvloedt de geluidsdruk de golflengte van een monochrome lichtstraal. Uit de afwijkingen van de golflengte kan een audiosignaal worden afgeleid.

De koolstof microfoon

Opmerking
Dit is de oudste uitvoering van een microfoon, maar er zijn nog steeds honderden miljoenen van dergelijke microfoons in gebruik. De reden is dat in iedere ouderwetse standaard-telefoon een dergelijk type aanwezig is voor het opvangen van de menselijke stem.

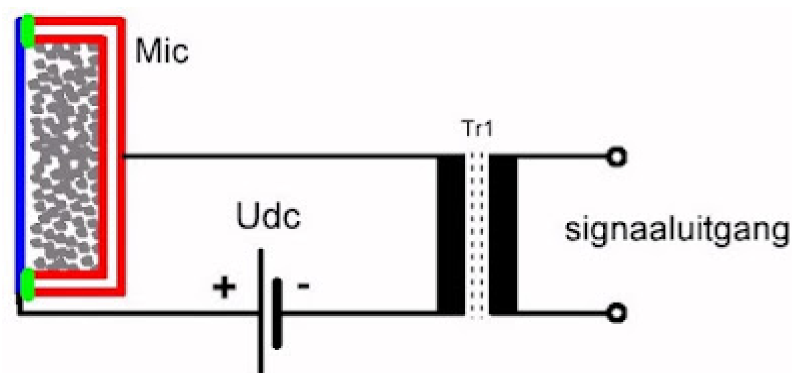
Werking
Een koolstof microfoon bestaat uit een klein metalen doosje, dat gevuld is met heel fijne koolstof korrels, zie onderstaande figuur. Het doosje wordt aan één zijde afgesloten door een elektrisch geleidend membraan, een dun zeer veerkrachtig plaatje. Als dit membraan wordt getroffen door luchttrillingen, zal het deze trillingen overnemen. Door de beweging van het membraan ontstaat druk op de koolstof korrels. Afhankelijk van de druk verandert de overgangsweerstand tussen de koolstof korrels en daarmee de totale weerstand. Bij het aanleggen van een gelijkspanning zal de stroom door deze weerstandsverandering ook gaan variëren. Deze wisselstroom kan dan omgezet worden in een wisselspanning.



De samenstelling van een koolstof microfoon. (© 2018 Jos Verstraten)

Eigenschappen
Het frequentiebereik van deze microfoons gaat van 50 Hz tot 8 kHz. Niet bijzonder indrukwekkend, maar deze microfoons zijn wel goedkoop en ideaal voor het versterken van de menselijke stem. Bovendien zijn zij vrij gevoelig. De koolstof microfoon is echter extreem gevoelig voor vochtigheid, aangezien daardoor het koolstof poeder kan gaan samen klitten en de gevoeligheid afneemt. Koolstof microfoons moeten zoveel mogelijk verticaal gemonteerd en gebruikt worden, om het contact tussen het poeder en het membraan of het doosje niet te verliezen.
Een nadeel van dit type microfoon is de grote ruisspanning die wordt gegenereerd. Deze ruis ontstaat vanwege het statistische zeer wisselend contact dat ontstaat tussen de microscopisch kleine koolstof korreltjes.

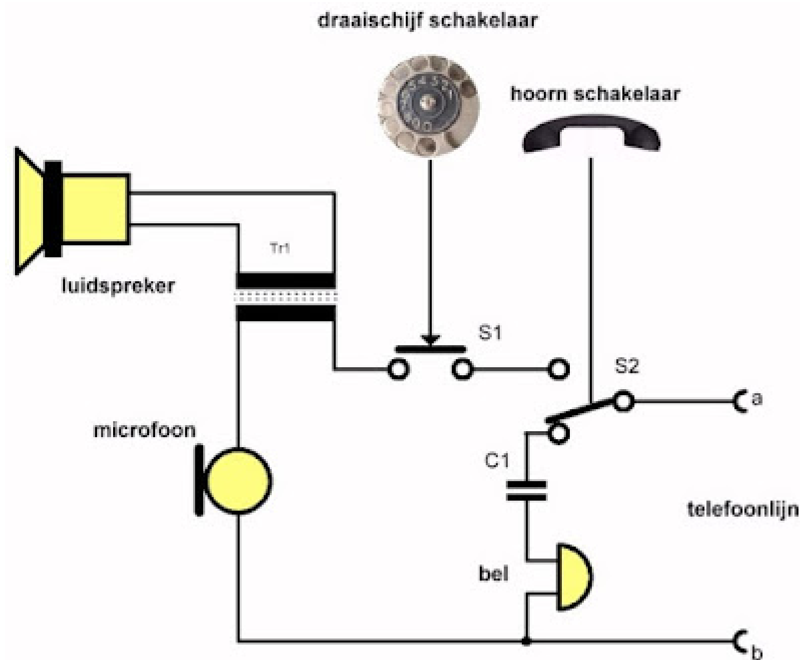
De koolstof microfoon in de praktijk
In de praktijk moet u steeds een serieschakeling samenstellen van een koolstof microfoon, een gelijkspanningsvoeding en een element waarmee u de wisselstroom die door de keten loopt kunt omzetten in een wisselspanning. Bovendien wenst men vaak een galvanische scheiding tussen het microfooncircuit en de rest van de schakeling. Een typische schakeling is getekend in onderstaande figuur. De microfoon Mic en de gelijkspanningsvoeding U_{dc} vormen een seriekring met de primaire wikkeling van een kleine trafo Tr1. De gemoduleerde stroom, die door de kring vloeit, wekt secundair een wisselspanning op die u nadien kunt versterken.



Het toepassen van een koolstof microfoon. (© 2018 Jos Verstraten)

Telefoon toepassing
In onderstaande figuur is (vereenvoudigd) getekend hoe een koolstof microfoon wordt toegepast in een traditionele telefoon. Tussen de aders a en b van de koperen telefoonlijn staat een gelijkspanning van ongeveer 60 V. In rust drukt de hoorn de schakelaar S2 in de onderste stand. De microfoon staat dus vrij. Neemt u de hoorn van de haak, dan veert de schakelaar S2 naar de bovenste stand. De lijnspanning tussen a en b vloeit nu door de primaire wikkeling van de trafo en door de microfoon. Deze stroom wordt gemoduleerd door de weerstandsvariaties in het microfoon kapsel. Deze variërende stroom wordt in de telefooncentrale doorgekoppeld naar het toestel waarmee u communicatie pleegt en wekt

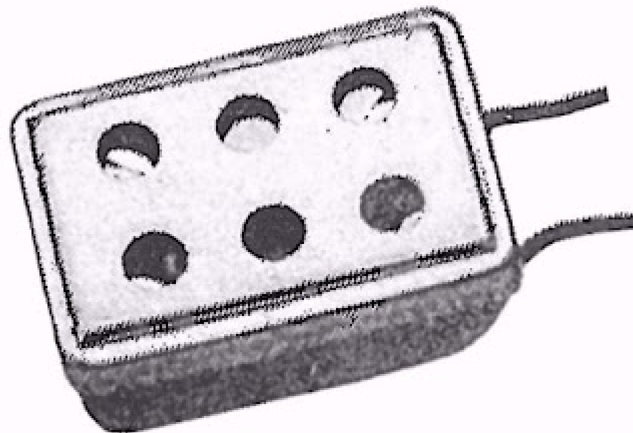
daar in de trafo een wisselspanning op, die het luidsprekertje in de hoorn van signaal voorziet.



De traditionele toepassing van een koolstof microfoon in een ouderwetse telefoon. (© 2018 Jos Verstraten)

Koolstof microfoons in de praktijk

Hier en daar vindt u in catalogi van postorderbedrijven nog koolstof microfoon kapsels. Deze zien er uit als voorgesteld in onderstaande figuur en kosten ongeveer een halve euro. Dit kapseltje is 21 mm breed, 15 mm hoog en 67 mm diep en heeft een gevoeligheid van 1,0 mV/µbar bij 1 kHz. De bandbreedte loopt van 200 Hz tot 8 kHz.



Een koolstof microfoon kapseltje dat nog steeds zeer goedkoop wordt aangeboden. (© 2018 Jos Verstraten)

De kristal microfoon

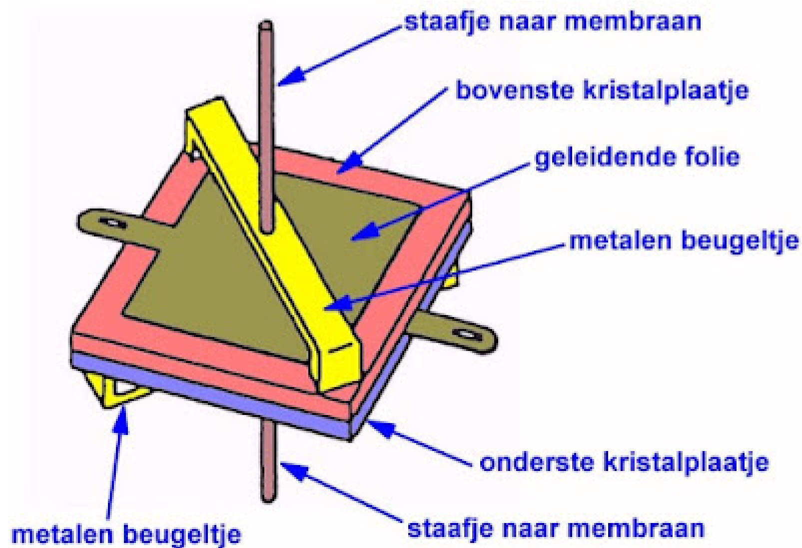
Principe

Een kristal microfoon werkt volgens het piëzo-elektrisch principe. Bepaalde materialen zoals kwarts vertonen dit effect. Wanneer een dun plaatje van een dergelijk materiaal aan mechanische krachten wordt onderworpen, ontstaat over het materiaal een elektrische spanning. De constructie van de microfoon is er nu op gericht luchtdrukverschillen in de lucht om te vormen in mechanische krachten die op het plaatje worden overgedragen.

Constructie

Er bestaan verschillende systemen om luchtdruk in kracht om te zetten. Een van de

toegepaste systemen is geschetst in onderstaande figuur. Het gevoelige element bestaat uit twee vierkantvormige piëzo-ceramische plaatjes (rood en blauw voorgesteld), die samengekit worden. Deze zijn zo geschakeld, dat het geheel de grootste spanning afgeeft als twee tegenover elkaar liggende hoeken naar boven verbogen worden en de twee overige hoeken naar onder. Boven en onder de plaatjes staan twee metalen beugeltjes (geel voorgesteld) die via staafjes (bruin voorgesteld) verbonden zijn met twee membranen en die de trillingen van de membranen overbrengen op de hoekpunten van de plaatjes. De piëzo-ceramische plaatjes zijn aan weerszijden voorzien van twee uiterst dunne metalen plaatjes (goud voorgesteld), die de spanning van het kristal aftakken en via soldeerlipjes naar buiten brengen.



Natuurgetrouwe schets van de samenstelling van een kristal microfoon.
(© 2018 Jos Verstraten)

Eigenschappen

Door de twee parallelle membranen, aan weerszijden van de microfoon, heeft deze microfoon een zeer grote gevoeligheid in beide richtingen. Kristal microfoons worden dus gekarakteriseerd door vrij hoge uitgangsspanningen en hoge gevoeligheden. Dat, samen met hun lage prijs en zeer diverse uitvoeringsvormen, maken deze typen zeer geliefd voor toepassingen in intercoms, draagbare recorders, deurtelefoons en alle andere toepassingen waar kwaliteit er niet zo toe doet. De bandbreedte van de meeste kristal microfoons is namelijk niet denderend: meer dan 10 kHz moet u niet verwachten.

Het zal duidelijk zijn dat kristal microfoons capacitieve belastingen vormen voor de schakelingen waarop zij worden aangesloten. De eigen capaciteit kan diverse honderden pF bedragen. Dat komt overeen met een impedantie van ongeveer 100 kΩ bij een frequentie van 1 kHz. De gevoeligheid bedraagt gemiddeld 2 mV/µbar.

Toepassen van kristal microfoons

Kristal microfoons moeten steeds, zo dicht mogelijk bij het onderdeel, worden afgesloten met een hoogohmige weerstand. De waarde van deze weerstand moet minstens 1 MΩ bedragen. Het signaal wordt afgetakt over deze weerstand en via een afgeschermde leiding naar de voorversterker getransporteerd. Vanwege de hoge impedanties is deze verbinding extreem gevoelig voor het oppikken van brom en ruis. Bovendien zorgt de hoge impedantie van de kristal microfoon ervoor dat er bij lange leidingen behoorlijk veel signaalverlies over de eigen impedantie van de kabel optreedt.

Praktische uitvoeringen

Kristal microfoons kunt u in nogal wat uitvoeringen kopen. Een van de best bekende vormen is weergegeven in onderstaande figuur. Deze kleine, ronde microfoon met een diameter van slechts 11 mm kunt u rechtstreeks in een print solderen en heeft twee aansluitpennen die op een onderlinge afstand van 2,5 mm staan.

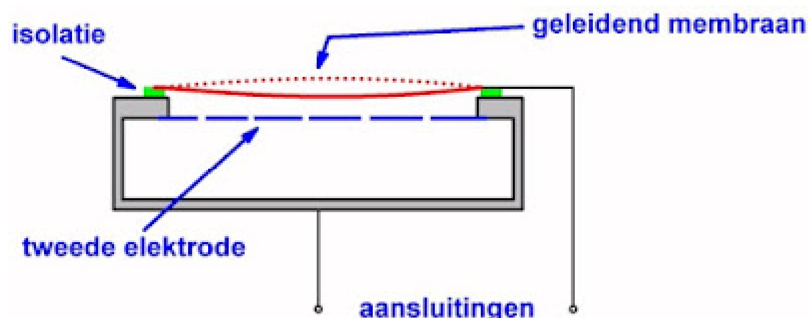


Kristal microfoon voor rechtstreeks printmontage.
(© Conrad Electronic)

De condensator microfoon

Principe
Een condensator microfoon is in feite niets meer of minder dan een condensator, waarvan de waarde varieert rond een bepaalde gemiddelde waarde. De waardeverandering van de capaciteit wordt uiteraard veroorzaakt door de geluidstrillingen die het oppervlak van de microfoon treffen. Uit dit principe volgt onmiddellijk dat een condensator microfoon géén spanning kan afgeven. U moet dus de microfoon steeds opnemen in een externe schakeling, die de capaciteitsvariaties op de een of andere manier omzet in spanningsvariaties en dat liefst zo lineair mogelijk

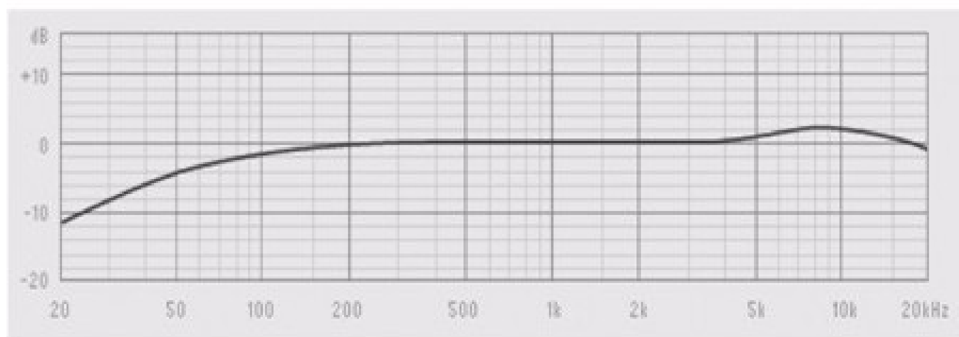
Constructie
De werking volgt aan de hand van de doorsnedetekening in onderstaande figuur. Ook nu is er weer een membraan, maar dit moet elektrisch geleidend zijn, bijvoorbeeld door er een dun goudlaagje op te dampen. Dit membraan is immers één plaat van de condensator. Het membraan is zeer dun, dikten van 25 µm zijn geen uitzondering, en daardoor zeer kwetsbaar. De andere elektrode is op een minimale afstand geïsoleerd van het membraan aangebracht. De lucht tussen het membraan en de tweede elektrode vormt het diëlektricum van de condensator. In de tweede elektrode is een aantal gaatjes aangebracht, zodat de lucht tussen de twee platen van de microfoon goed kan stromen en er geen interne drukverschillen kunnen ontstaan. Als het membraan gaat trillen, varieert de afstand tussen de twee elektroden en daarmee ook de waarde van de capaciteit. Uiteraard gaat het hierbij om minimale capaciteitsvariaties!



Doorsnede door een condensator microfoon. (© 2018 Jos Verstraten)

Specificaties
Het grote voordeel van een condensator microfoon is dat het membraan zeer dun en daardoor zeer licht en zeer beweeglijk is. Zelfs de kleinste drukverschillen in de lucht worden opgevangen. Het grote nadeel van een condensator microfoon is dat het onderdeel geen spanning afgeeft. De eigen capaciteit van een condensator microfoon wijkt niet erg veel af van deze van een kristal microfoon: een waarde van 100 pF tot 200 pF is normaal. De gevoeligheid is sterk afhankelijk van het oppervlak van het membraan maar gemiddelde

waarden zijn 0,5 tot 5 mV/µbar. De frequentiekarakteristiek van een condensator microfoon verloopt zeer recht. Bovendien is het mogelijk afwijkingen, bijvoorbeeld veroorzaakt door resonanties in de constructie, te dempen door de gaatjes in de tegen-elektrode in een speciaal patroon aan te brengen. In onderstaande figuur is de weergavekarakteristiek van de KM184 van Neumann getekend. Voor een dergelijk pareltje moet u overigens wel een sappige € 650,00 neertellen!
Het zal duidelijk zijn dat deze microfoons dan ook voornamelijk voor het betere werk worden toegepast. Iedere opnamestudio, ieder theater en iedere muzikant grossiert in dit soort microfoons. Opgemerkt moet worden dat de condensator microfoon als 'high end' product tegenwoordig toch steeds meer concurrentie krijgt van de betere soorten elektreet microfoons.

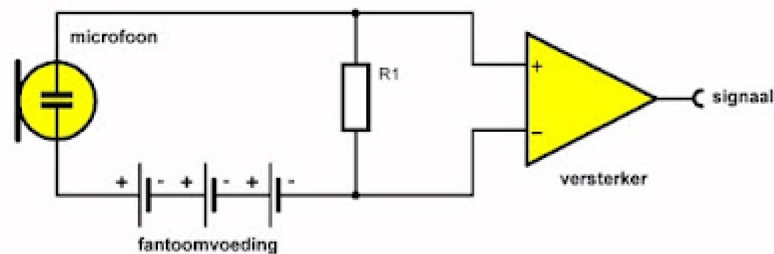




Frequentiekarakteristiek van een goede en zeer dure condensator microfoon. (© Neumann)

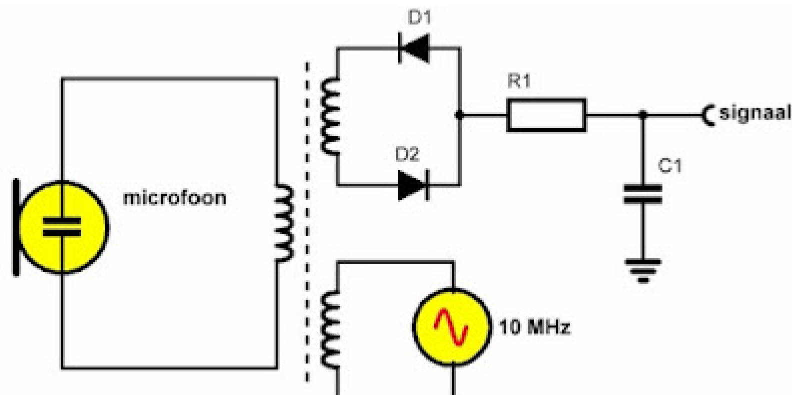
Elektronica bij de microfoon
Die uitstekende frequentieweergave kan echter alleen gehandhaafd blijven als de eerste versterkertrap, die dus de capaciteitsvariaties omzet in een spanning, niet meer dan een paar cm van het microfoon kapsel verwijderd is. Iedere 10 cm kabel, die u op een condensator microfoon aansluit, zorgt immers voor een zware belasting die de goede eigenschappen van dit type om zeep helpt.

Van capaciteit naar spanning
Een eenvoudig principe om de capaciteit van de microfoon om te zetten in een elektrisch signaal is getekend in onderstaande figuur. De microfoon staat in serie met een hoge weerstand R en een grote gelijkspanning. Als de waarde van de condensator varieert, zal het onderdeel meer of minder lading op kunnen nemen, met als gevolg dat er een stroom door de kring gaat vloeien. Deze stroom wekt over de weerstand R1 een spanning op, die recht evenredig is met de opgevangen drukverschillen en verder versterkt kan worden.
De waarde van de weerstand varieert tussen 30 MΩ en 100 MΩ en het zal duidelijk zijn dat de als driehoekje getekende versterker zo dicht mogelijk bij deze weerstand moet staan. Bovendien moet die versterker een zeer hoge ingangsimpedantie hebben, zodat FET-versterkers opgebouwd met ruisarme weerstanden voor de hand liggen. Moderne geïntegreerde op-amp's met FET-ingangen hebben meestal een te hoge eigen ruis om hier hun diensten te kunnen aanbieden.
Het grote nadeel van deze schakeling is de noodzakelijke hoge gelijkspanning. Vroeger in het buizentijdperk stond deze spanning standaard ter beschikking en kon via een kabel naar de microfoon vervoerd worden. In dit laagspanningstijdperk kost het genereren van een dergelijke hoge spanning natuurlijk wat meer inspanning. Een heleboel goede versterkers voor condensator microfoons zijn standaard voorzien van een fantoomvoeding met een uitgangsspanning van 48 V. In de microfoon zit dan een eerste versterkertrap met een lage uitgangsimpedantie, de rest van de elektronica zit in de externe versterker.



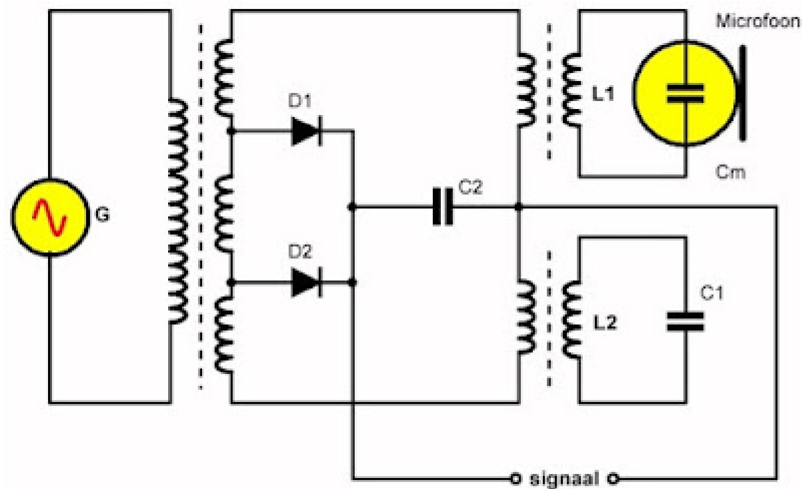
Omzetten van capaciteitsvariaties in spanningsvariaties. (© 2018 Jos Verstraten)

Van capaciteit naar FM
Om het probleem van de hoge voedingsspanning te ondervangen gebruikt men soms een geheel andere benadering. De capaciteit van de microfoon is opgenomen in een LC-kring van een HF-oscillator. De frequentie die deze generator opwekt is dus recht evenredig met de capaciteitsvariaties en dus ook met het opgevangen geluid. Dank zij deze omweg hebt u geen hoge gelijkspanning nodig: de condensator kan zelfs, zoals blijkt uit het schema van onderstaande figuur, volledig spanningsloos in de trillingskring worden opgenomen. Het geheel vormt dus een in frequente gemoduleerd systeem en via een eenvoudige FM-demodulator kunt u het laagfrequente signaal hieruit afleiden.
De capaciteit van de condensator wordt bij dit voorbeeld via een transformator doorgekoppeld naar de spoel van een oscillator van 10 MHz. Op deze manier gaat de frequentie van deze oscillator variëren als de capaciteit van de condensator verandert. De wisselspanning wekt in de kern van de trafo een wisselveld op dat in de derde wikkeling een FM-signaal genereert. Deze spanning wordt met twee dioden en een RC-laagdoorlaat filtertje omgezet in een audio-spanning.



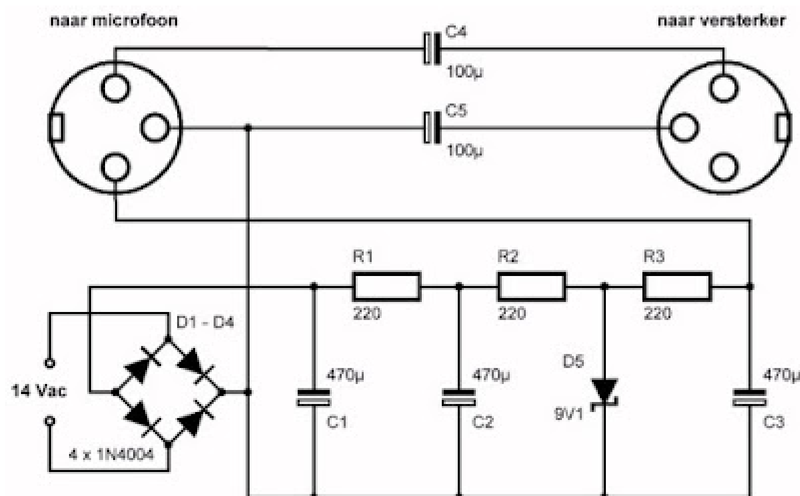
Schakeling waarmee een condensator microfoon de frequentie van een HF-oscillator beïnvloedt. (© 2018 Jos Verstraten)

Van capaciteit naar AM
Een ander systeem is getekend in onderstaande figuur, waar wordt gewerkt met een differentiële brug. De microfoon capaciteit Cm vormt samen met de spoel L1 een afgestemde trillingskring. Een identieke kring wordt gevormd door de spoel L2 en de condensator C1. Derde deel van de schakeling is een HF-generator G. Deze stuurt zijn uitgangsspanning via de transformator in de differentiële schakeling. De twee trillingskringen zijn afgestemd op de oscillatorfrequentie. Als de microfoon in rust is vormen beide trillingskringen een even grote impedantie. De twee gelijkrichtdiode voeren even grote, maar tegengestelde spanningen naar de uitgang. Het resultaat is nul. Als de capaciteit van de microfoon gaat variëren zal de impedantie van de bovenste afgestemde kring ook variëren. Hierdoor ontstaat een onevenwicht in de brug, waardoor beide gelijkrichters verschillende signalen naar de uitgang voeren. Op de uitgang ontstaat een LF-spanning, waarvan de momentele waarde varieert op het ritme van de capaciteitsveranderingen van de microfoon.



Een tweede systeem waarmee u, zonder grote gelijkspanning, een condensator microfoon spanningen laat genereren. (© 2018 Jos Verstraten)

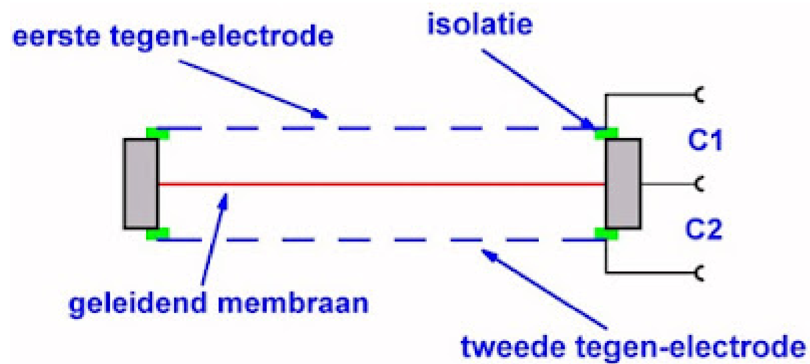
Voeding via de kabel
Hoewel beide besproken systemen géén hoge spanningen nodig hebben, moeten zij natuurlijk wel een lage voedingsspanning ter beschikking hebben. Bovendien is het absoluut noodzakelijk de elektronica op te nemen in de behuizing van de condensator microfoon. Er moet dus voeding aangevoerd worden via de kabel. Hiervoor kunt u uiteraard een drie-aderige kabel gebruiken, waar een afzonderlijke ader wordt gebruikt voor het transporteren van de voedingsspanning. Een voorbeeld van een dergelijke schakeling is getekend in onderstaande figuur. Uit een wisselspanning van ongeveer 14 V wordt een gelijkspanning afgeleid, die nadien goed gefilterd wordt en met een zenerdiode gestabiliseerd op 9,1 V. Via een extra ontkoppelingsnetwerk gaan deze voedingsspanning naar een van de drie pennen van de microfoon connector.



Een eenvoudige voeding voor de elektronica in de behuizing van een condensator microfoon. (© 2018 Jos Verstraten)

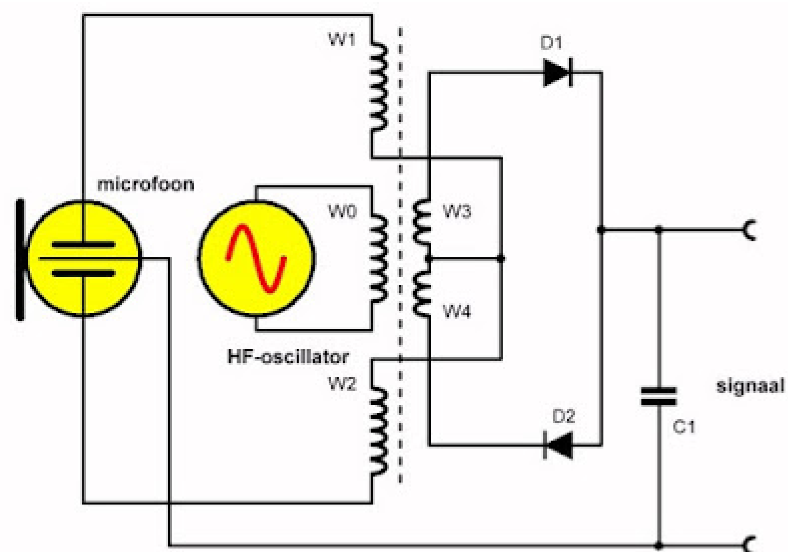
Symmetrische condensator microfoons
Zoals reeds geschreven hebben condensator microfoons uitstekende eigenschappen. Toch hebben zij last van lineariteitsfouten. Een van de foutbronnen is de tussen beide elektroden opgesloten lucht. Weliswaar kan deze lucht via de gaatjes ontsnappen, maar allerlei ingewikkelde fysische stromingswetten zorgen ervoor dat aan dat ontsnappen toch een paar haken en ogen zitten, die de lineaire werking van een microfoon verstoren. Bovendien vormt de ingesloten lucht een soort van akoestische impedantie, waarvan de waarde varieert als het membraan beweegt. Ook dit effect veroorzaakt niet-lineariteiten in de werking van de microfoon. Tot slot heeft ook de manier waarop de condensator in een HF-kring is opgenomen niet-lineariteit tot gevolg.
Om deze problemen op te lossen heeft onder andere Sennheiser een nieuwe type condensator microfoon op de markt gebracht, waarbij wordt gewerkt met twee symmetrisch

ten opzichte van het membraan geplaatste tegen-elektroden. Het werkingsprincipe van dit soort microfoons wordt voorgesteld in onderstaande figuur.
Door de symmetrische opbouw van het kapsel zullen de twee akoestische impedanties die gevormd worden door de twee luchtkamertjes symmetrische eigenschappen hebben. Als de impedantie van het ene kamertje met een bepaalde waarde daalt, dan zal de impedantie van het tweede kamertje met dezelfde waarde stijgen. Het membraan wordt nu bovendien aan weerszijden op dezelfde manier akoestisch belast. De symmetrische opbouw zorgt er voor dat ook de elektrische eigenschappen van het kapsel volledig symmetrisch zijn. Een symmetrische condensator microfoon bevat twee even grote capaciteiten, die één plaat gemeenschappelijk hebben.



Samenstelling van een symmetrische condensator microfoon. (© 2018 Jos Verstraten)

Schakeling na een symmetrische microfoon
Het zal duidelijk zijn dat voor dergelijke typen ook andere elektronische schakelingen ontworpen moeten worden. In onderstaande figuur is een voorbeeld gegeven van de schakeling die door Sennheiser ontwikkeld is. De twee identieke wikkelingen W1 en W2 van een HF-trafo vormen samen met de twee capaciteiten C1 en C2 van de condensator microfoon een brugschakeling. Deze schakeling is afgestemd op de frequentie van de HF-oscillator die op de wikkeling W0 is aangesloten. Als het membraan van de microfoon in de rustpositie staat is de brug in evenwicht en staat tussen de diagonaal van de brug geen HF-spanning. Als het membraan in de een of de andere richting gaat uitwijken wordt dit evenwicht verstoord (C1 niet meer gelijk aan C2). De restspanning wordt via de wikkelingen W3 en W4 aangeboden aan de twee dioden van de synchrone gelijkrichter. Over de condensator C1 ontstaat een LF-spanning, die recht evenredig is met de afwijking van het membraan van zijn rustpositie.

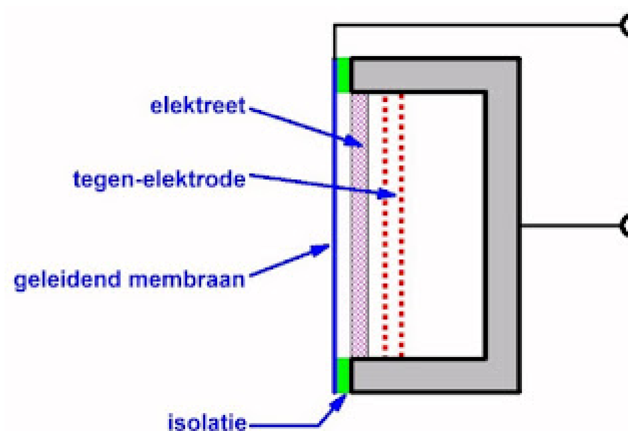


De elektronische schakeling die gebruikt wordt bij symmetrische condensator microfoons. (© 2018 Jos Verstraten)

De elektreet microfoon

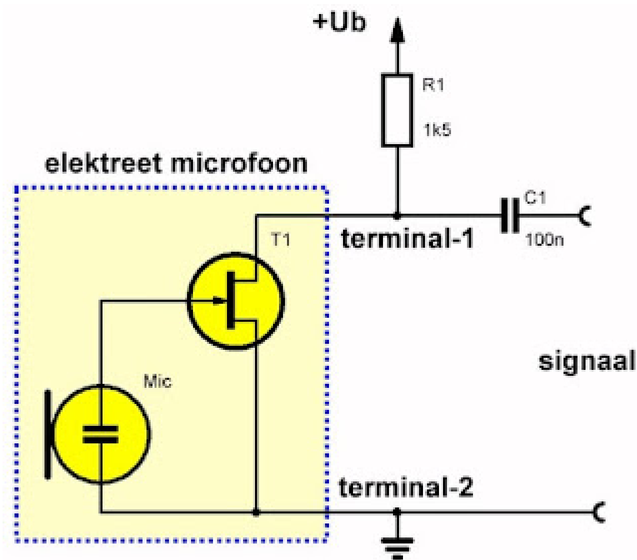
Opmerking
In nogal wat Nederlandstalige publicaties zult u het begrip 'electret' aantreffen. Dat is fout: de enige goede Nederlandse benaming van dit onderdeel is 'elektreet microfoon'.

Werkingsprincipe
De elektreet microfoon is een moderne uitvoering van de condensator microfoon. Zoals beschreven heeft een condensator microfoon een polarisatiespanning van 50 V tot 150 V nodig om de capaciteitsvariaties om te zetten in spanningsvariaties. De spanning zorgt voor een lading in de condensator en deze lading zal, bij het trillen van het membraan, zich uiten onder de vorm van een laad- of ontlaadstroom. Men is er nu in geslaagd statische lading op te slaan in een kunststof folie. Dergelijke materialen noemt men 'elektreets'. Dit permanent statisch veld valt te vergelijken met het permanent magnetisme van een magneet. Van een dergelijke kunststof folie wordt nu een dun plaatje gemaakt dat, zie onderstaande figuur, geplaatst wordt tussen het membraan en de tegen-elektrode van een condensator microfoon. Het permanent aanwezige statisch veld in de elektreet laadt de platen van de condensator op. Het grote voordeel is dat men, dank zij moderne integratietechnieken, een zeer goed werkende versterkerschakeling in het microfoon kapsel kan inbouwen. Meestal bestaat de versterker uit een FET-trap met open-drain uitgang.



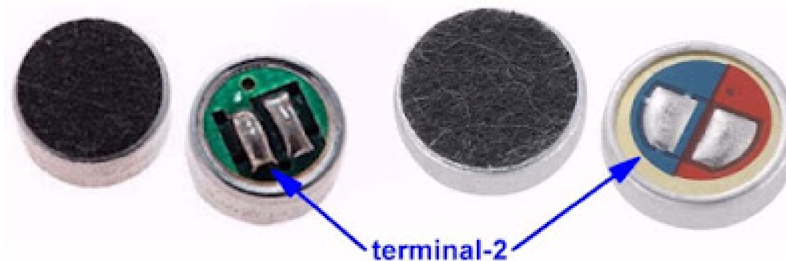
Werkingsprincipe van een elektreet microfoon. (© 2018 Jos Verstraten)

Eigenschappen
Elektreten zijn leverbaar van uiterst goedkoop tot heel duur. De kwaliteit varieert dus nogal, wat niet erg is want niet iedere microfoon moet even goed zijn. Het duurdere soort elektreet microfoons heeft tegenwoordig ongeveer dezelfde uitstekende eigenschappen als condensator microfoons. Ook hun bandbreedte verloopt zeer recht.
Dank zij de ingebouwde FET-versterker heeft een elektreet kapsel een tamelijk lage uitgangsimpedantie. Een waarde van 1 kΩ tot 2 kΩ is standaard. De signaal/ruis-afstand is echter vrij laag, namelijk typisch 45 dB. Vanwege de ingebouwde elektronica moet u een elektreet microfoon voeden met een gelijkspanning. De FET-versterker heeft meestal een open-drain uitgang, zodat de noodzakelijke schakeling beperkt kan blijven tot dat wat in onderstaande figuur is getekend. De belastingsweerstand heeft een waarde van 1,5 kΩ en wordt tussen een voeding van 1,5 V tot 10 V en 'terminal-1' van de elektreet geschakeld. De ingebouwde FET-trap zal de stroom door de weerstand moduleren en de spanningsval die hiervan het gevolg is kan via de condensator C afgetapt worden. De waarde van deze condensator ligt tussen 10 nF en 4,7 μF.



Aansluiten van een elektreet microfoon op de rest van een schakeling.
(© 2018 Jos Verstraten)

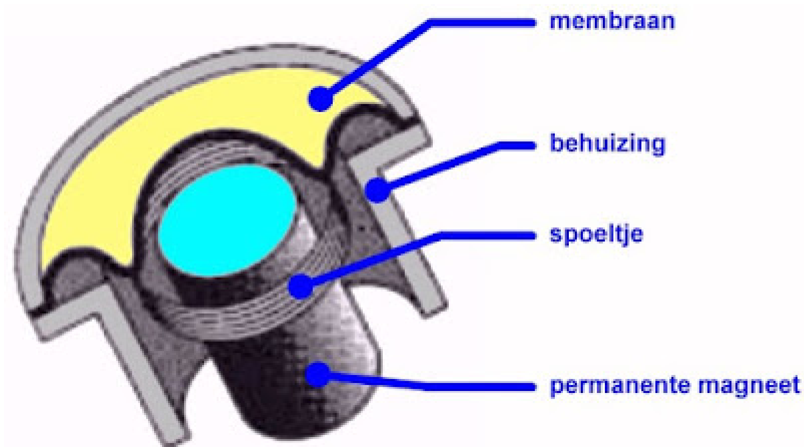
Uitvoeringsvormen
Dank zij de moderne integratie is men in staat elektreet microfoons zeer klein uit te voeren. Als voorbeeld worden in onderstaande figuur twee typische elektreet kapseltjes voorgesteld. U ziet ook hoe u 'terminal-1' van 'terminal-2' kunt onderscheiden. Deze laatste elektrode ligt aan de massa en is dus steeds verbonden met de metalen behuizing waarin het elektreet kapseltje is opgenomen of wordt gekenmerkt door een blauwe indicatie. Deze microfoontjes kosten een paar euro.



Miniatuur elektreet microfoons, zoals u die tegenwoordig overal aantreft.
(© Conrad Electronic)

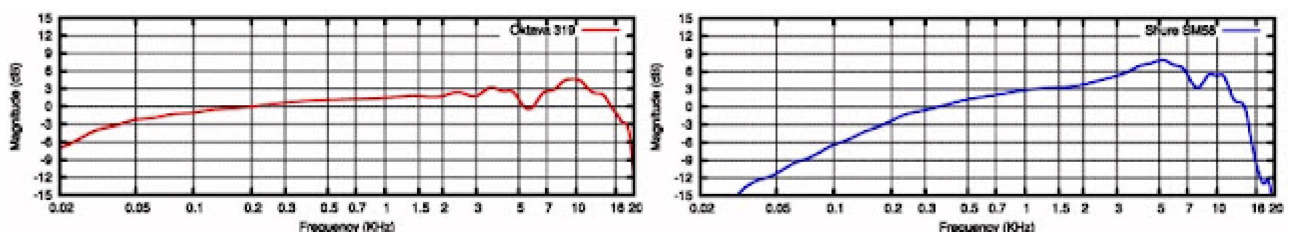
De dynamische microfoon

Werkingsprincipe
Een verend membraan is star verbonden met een miniatuurspoeltje, zie de doorsnede van onderstaande figuur, dat zich in het veld van een permanente magneet bevindt. De geluidsdruk zorgt voor beweging van het membraan en daarmee voor de beweging van het spoeltje in het magnetisch veld. In een spoeltje, dat in een magneetveld beweegt, wordt een inductiespanning gegenereerd. Deze spanning is recht evenredig met de snelheidsvariatie. In het spoeltje ontstaat dus een wisselspanning, waarvan de amplitude een recht evenredig verband vertoont met de drukvariaties in de lucht. Het resultaat is een bruikbare LF-wisselspanning over het spoeltje. Deze microfoons hebben dus geen externe voedingsspanning nodig.



Werkingsprincipe van een dynamische microfoon. (© 2018 Jos Verstraten)

Specificaties
Dynamische microfoons behoren niet tot de beste die te koop zijn. Het zal duidelijk zijn dat de massa van het bewegend deel van de constructie vrij groot is. Het membraan moet immers het spoeltje in beweging brengen. Een immens verschil met condensator microfoons, waar het membraan flinterdun is en alleen zichzelf in beweging moet brengen. Het zal wel zonder meer duidelijk zijn dat die zware mechanische constructie rampzalige gevolgen heeft voor de bandbreedte en voor de frequentieweergave. Ter vergelijking vergelijken wij in onderstaande grafiek de amplitude/frequentie-karakteristiek van een typische condensatormicrofoon (links) met deze van een typische dynamische microfoon (rechts). Ook de weergave van hoge frequenties is niet denderend: de zware membraan-constructie kan de snelle bewegingen die daar bij horen niet volgen.
De impedantie van een dergelijke microfoon is vrij laag. Om de constructie niet zwaarder te maken dan zij al is, geeft men het spoeltje zo weinig mogelijk windingen. Vandaar dat impedanties tussen 5 Ω en 200 Ω eerder regel dan uitzondering zijn. Het gevolg is wel dat een dynamische microfoon niet veel spanning genereert. De uitgangsspanning ligt tussen 0,05 en 0,5 mV/µbar. Er moet dus extreem versterkt worden om een normaal signaal van stel 0,75 V te verkrijgen, met alle daarbij horende problemen van ruis en brom. De zeer lage impedantie heeft wel als voordeel dat u de microfoon kunt afsluiten met een lange afgeschermde leiding.



De weergavekarakteristieken van een condensator (links) en een dynamische (rechts) microfoon vergeleken. (© Wikipedia)

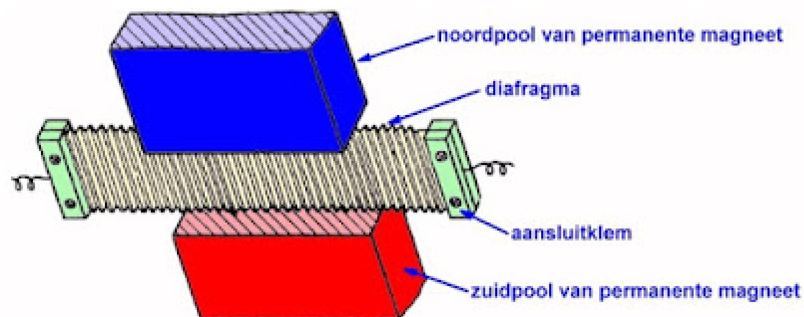
Uitvoeringsvormen
Dynamische microfoons zijn een beetje uit de gratie, een gevolg van het feit dat de veel en veel betere elektreet typen goedkoper op de markt kunnen worden gebracht. In onderstaande figuur is een door Monacor leverbaar type geschetst. Dat een dergelijk exemplaar veel gelijkenis vertoont met een tweeter zal geen verbazing wekken. De constructie van beide onderdelen is vrijwel identiek.



Het standaard uiterlijk van een dynamisch microfoonkapsel. (© Okaphone)

De band microfoon

Werking
Het grote probleem van een elektrodynamische microfoon is de zware bewegende massa. Bij de band microfoon heeft men dit opgelost, zie onderstaande figuur, door het membraan en het spoeltje te integreren in één onderdeel. Dat onderdeel is een uiterst dun en veerkrachtig zigzag opgevouwen aluminium stripje, het diafragma. Dit diafragma is opgehangen tussen de polen van een permanente magneet. Het zal duidelijk zijn dat, om in dit uiterst kleine stripje een verwerkbare spanning op te wekken, er een krachtig magnetisch veld aanwezig moet zijn. Het is dan ook de moderne technologie met zijn oersterke kleine permanente ferriet- en neodymium-magneten die de ontwikkeling van dit verbeterd dynamisch type mogelijk heeft gemaakt.



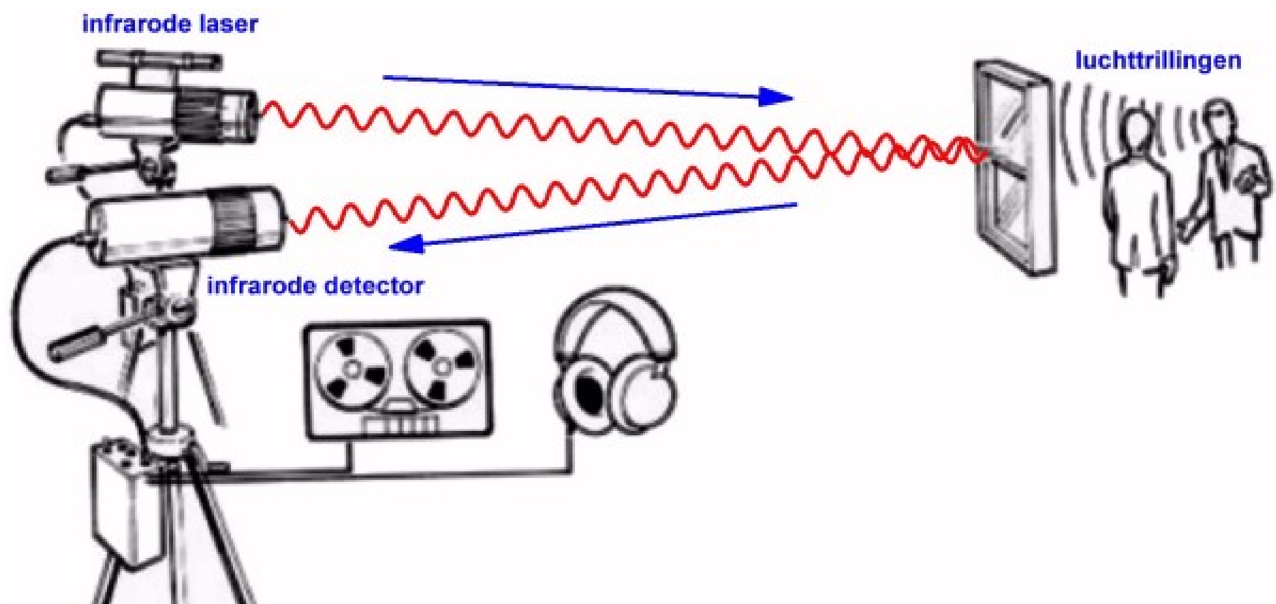
Het werkingsprincipe van een band microfoon. (© 2018 Jos Verstraten)

Eigenschappen
Een band microfoon is erg kwetsbaar en zéér gevoelig voor windstoten en blazen. Een keer hard blazen in de microfoon en de band moet worden vervangen omdat die vervormd is geraakt. Om die reden moet u een band microfoon van een windsok voorzien als u deze verplaatst.
Een band microfoon heeft een uiterst lage impedantie (veel lager dan 1 Ω) en levert zeer kleine spanningen af. U moet het kapsel onmiddellijk afsluiten met een impedantie-transformator en een voorversterker. De overige eigenschappen zijn erg goed, onder andere de bandbreedte en de frequentiekarakteristiek. Toch zult u dit type maar in weinig commercieel verkrijgbare microfoons aantreffen.

De laser microfoon

Werking
De laser microfoon is een vreemde eend in de bijt. U zult hem nooit in een studio of op het

podium aantreffen. In feite wordt een laser microfoon uitsluitend gebruikt voor het van grote afstand afluisteren van gesprekken in afgesloten ruimtes. De werking berust op het doppler-effect, hetzelfde natuurkundig verschijnsel waarmee ook de snelheidsmeters van de politie werken. Een laser zendt een dunne bundel monochromatisch licht uit. Dat wil zeggen dat de golflengte van de golven, waaruit deze lichtbundel bestaat, zeer constant is. Men gebruikt om voor de hand liggende redenen een laser die onzichtbaar infrarood licht uitstraalt. Als u deze bundel op een glazen ruit richt, dan zal het grootste deel van het licht door de ruit gaan, maar een klein deel wordt teruggekaatst. Als de ruit stil staat is de golflengte van het teruggekaatste licht absoluut gelijk aan de golflengte van de door de laser uitgezonden lichtstraal. Als de ruit echter trilt, al is het maar met een amplitude van een paar micrometer, dan zal de golflengte van het teruggekaatste licht heen en weer schommelen rond de waarde van de golflengte van het laserlicht. De zeer kleine afwijkingen in de golflengte van het teruggekaatste licht noemt men het doppler-effect en men kan deze omzetten in een laagfrequent signaal. Dit signaal is een maat voor de wijze waarop de ruit trilt. Als u dus het gesprek wilt afluisteren dat in een kamer wordt gevoerd, volstaat het zo'n laserbundel op het venster van die kamer te richten en de teruggekaatste lichtstraal op te vangen met een detector. De trillingen in de lucht in de kamer, veroorzaakt door het gesprek, laten de glazen ruit van het venster iets trillen. De ruit vormt als het ware een enorm groot membraan van een microfoon. Deze trillingen moduleren de golflengte van de laserbundel en na detectie en demodulatie kunt u het gesprek meeluisteren alsof u in de kamer aanwezig bent. Trillingen van de ruit als gevolg van wind zijn zeer laagfrequent en kunnen met filters uit het signaal worden verwijderd.



Het werkingsprincipe van een laser microfoon. (© Gcomtech)

De PKI3100 laser microfoon

Als voorbeeld ziet u in de onderstaande foto zo'n laser microfoon en wel het type PKI3100 die via internet wordt aangeboden. Helaas worden geen prijzen vermeld en wordt ook geen garantie gegeven dat de douane uw bestelling zonder problemen toelaat. De laser heeft een vermogen van 50 mW en zendt infrarood licht uit met een golflengte van 790 nm. De maximale afstand waarop deze laser microfoon werkt wordt door de fabrikant op 300 meter gegarandeerd.

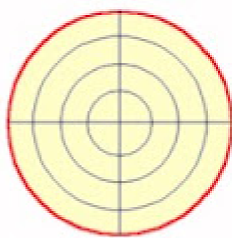


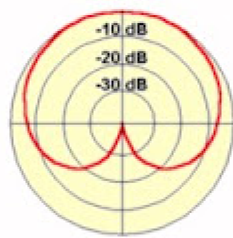
De commercieel verkrijgbare PKI 3100 laser microfoon. (© PKI-electronic)

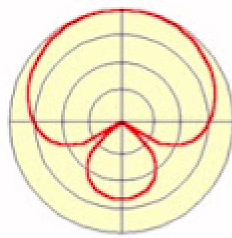
Microfoon specificaties

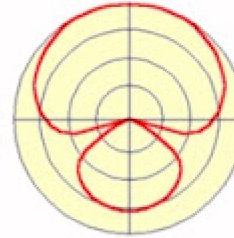
Vier belangrijke specificaties
Iedere microfoon wordt gespecificeerd door de volgende eigenschappen:

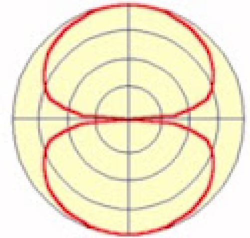
- **Gevoeligheid:**
  Dit is de verhouding tussen de door de microfoon gegenereerde spanning en de grootte van de geluidsdruk. De gevoeligheid wordt meestal in mV/µbar uitgedrukt. Hierbij is µbar de eenheid waarmee de geluidsdruk wordt gedefinieerd. Een spreker met normaal stemvolume zal op 1 m afstand een geluidsdruk van ongeveer 1 µbar genereren. Een klein orkestje presteert op een afstand van 5 m ongeveer 10 µbar geluidsdruk.
- **Frequentie-karakteristiek:**
  Geeft de bandbreedte van de microfoon, waarbij voor iedere frequentie een gelijke geluidsdruk wordt gegenereerd en de uitgangsspanning wordt gemeten in dB gerefereerd naar een referentie-frequentie van 1 kHz.
- **Impedantie:**
  Is zeer afhankelijk van het werkingsprincipe en kan liggen tussen 0,1 Ω en tientallen kΩ. Bovendien is de impedantie in grote mate afhankelijk van de frequentie.
- **Richtingsgevoeligheid:**
  Dit is de gevoeligheid als functie van de invalshoek tussen de geluidsgolven en het membraan. Er zijn microfoons die zeer richtingsgevoelig zijn en andere die zeer gevoelig zijn voor geluiden die uit alle richtingen komen. Deze specificatie is van groot belang, omdat zij een belangrijke rol speelt bij de keuze van de microfoon aan de hand van de praktijksituatie. In onderstaande figuur zijn vijf veel voorkomende richtingskarakteristieken getekend.











Richtingskarakteristieken die u vaak bij microfoons zult aantreffen. (© Nederlandse Vereniging voor Audiologie)